

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-188152  
 (43)Date of publication of application : 04.07.2003

(51)Int.Cl.

H01L 21/3065  
 B01J 19/08  
 C23C 16/511  
 H01L 21/205  
 H05H 1/46

(21)Application number : 2001-385999  
 (22)Date of filing : 19.12.2001

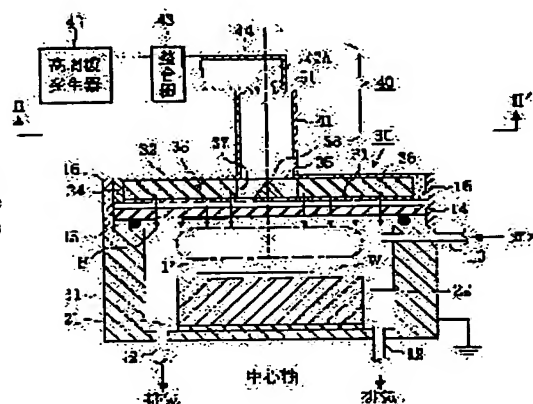
(71)Applicant : TOKYO ELECTRON LTD  
 (72)Inventor : ISHII NOBUO

## (54) PLASMA PROCESSING SYSTEM AND PLASMA GENERATING METHOD

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To stabilize operations of a plasma processing system which performs circular polarized wave feeding and to prolong its uninterrupted operation time.

SOLUTION: A power supply part 40 has a cylindrical wave guide tube 41 one end of which is open toward a slotted array antenna 30 and a circular polarized wave antenna 51 which is placed on the other end of the cylindrical wave guide tube 41 and supplies a high-frequency electromagnetic field as a rotating electromagnetic field which rotates in the plane perpendicular to its traveling direction. Since the power supply part 40 has the circular polarized wave antenna 51 for supplying a high-frequency electromagnetic field as a rotating electromagnetic field, there is no need for providing a circular polarized wave converter for converting the high-frequency electromagnetic field into a rotating electromagnetic field in the cylindrical guide wave tube 41.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 17.12.2004  
 [Date of sending the examiner's decision of rejection]  
 [Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]  
 [Date of final disposal for application]  
 [Patent number]  
 [Date of registration]  
 [Number of appeal against examiner's decision of rejection]  
 [Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]  
 [Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-188152

(P2003-188152A)

(43) 公開日 平成15年7月4日(2003.7.4)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テマート(参考)

H 0 1 L 21/3065

B 0 1 J 19/08

H 4 G 0 7 5

B 0 1 J 19/08

C 2 3 C 16/511

4 K 0 3 0

C 2 3 C 16/511

H 0 1 L 21/205

5 F 0 0 4

H 0 1 L 21/205

H 0 5 H 1/46

C 5 F 0 4 5

H 0 5 H 1/46

H 0 1 L 21/302

B

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2001-385999(P2001-385999)

(71) 出願人 000219967

東京エレクトロン株式会社

東京都港区赤坂五丁目3番6号

(22) 出願日 平成13年12月19日(2001.12.19)

(72) 発明者 石井 信雄

東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放  
送センター 東京エレクトロン株式会社内

(74) 代理人 100064621

弁理士 山川 政樹

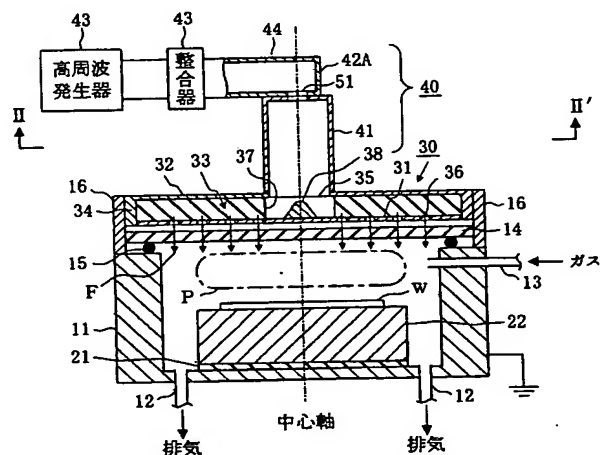
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置およびプラズマ生成方法

(57) 【要約】

【課題】 円偏波給電を行なうプラズマ処理装置の動作の安定化を図ると共に、連続稼動時間をのばす。

【解決手段】 給電部40は、一端がスロットアンテナ30に対して開口する円筒導波管41と、この円筒導波管41の他端に設けられ、高周波電磁界をその進行方向に対し垂直な面内で回転する回転電磁界として供給する円偏波アンテナ51とを有している。給電部40が高周波電磁界を回転電磁界として供給する円偏波アンテナ51を有しているため、円筒導波管41内の高周波電磁界を回転電磁界に変換するための円偏波変換器を設ける必要がない。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 被処理体を載置する載置台が収容された処理容器内に高周波電磁界を供給するスロットアンテナと、このスロットアンテナに高周波電磁界を供給する給電部とを備えたプラズマ処理装置であって、

前記給電部は、一端が前記スロットアンテナに対して開口する円筒導波管と、

この円筒導波管の他端に設けられ、前記高周波電磁界をその進行方向に対し垂直な面内で回転する回転電磁界として供給する円偏波アンテナとを少なくとも有することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 2】 処理容器内に磁界を形成する磁界発生部と、前記処理容器内に高周波電磁界を供給する給電部とを備え、電子サイクロトロン共鳴により加熱された電子を用いてプラズマを生成するプラズマ処理装置であって、

前記給電部は、一端が前記処理容器に対して開口する円筒導波管と、この円筒導波管の他端に設けられ、前記高周波電磁界をその進行方向に対し垂直な面内で回転する回転電磁界として供給する円偏波アンテナとを少なくとも有することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 3】 請求項 1 または 2 に記載されたプラズマ処理装置において、前記給電部は、前記円筒導波管の前記他端に一側面が接続された矩形導波管を更に有し、前記円偏波アンテナは、前記矩形導波管の一側面において前記円筒導波管内に開口した 1 つまたは複数のスロットから構成されていることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 4】 請求項 3 に記載されたプラズマ処理装置において、前記矩形導波管の前記一側面は、E 面であることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 5】 請求項 1 または 2 に記載されたプラズマ処理装置において、前記給電部は、前記円筒導波管の前記他端に、終端面が接続された矩形導波管を更に有し、前記円偏波アンテナは、前記矩形導波管の終端面において前記円筒導波管内に開口した 1 つまたは複数のスロットから構成されていることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 6】 請求項 3～5 のいずれかに記載されたプラズマ処理装置において、前記スロットは、互いの長さが異なり、互いの中心で交差する 2 本のスロットであることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 7】 請求項 3～5 のいずれかに記載されたプラズマ処理装置において、

前記スロットは、互いに離間して配置され、互いに略垂直な方向に延びる 2 本のスロットであることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 8】 請求項 1 または 2 に記載されたプラズマ処理装置において、

前記給電部は、内導体とその周囲に同軸に配設された外導体とからなり、前記円偏波アンテナに前記高周波電磁界を給電する少なくとも 1 本の同軸導波管を更に有し、前記円偏波アンテナは、前記円筒導波管の前記他端を閉塞し、前記同軸導波管の前記外導体に接続された第 1 の導体板と、前記円筒導波管内で前記第 1 の導体板に対し離間して対向配置され、前記同軸導波管の前記内導体に接続された第 2 の導体板とを有するパッチアンテナであることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 9】 請求項 1 に記載されたプラズマ処理装置において、

前記スロットアンテナには、互いの長さが異なる 2 本のスロットが互いの中心で交差するクロススロットが複数形成されていることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 10】 請求項 1 に記載されたプラズマ処理装置において、

前記スロットアンテナは、前記載置台に対向配置され、スロットが複数形成された第 3 の導体板と、

この第 3 の導体板に対向配置され、前記円筒導波管の前記一端が接続される開口を有する第 4 の導体板と、前記第 3 の導体板上に配置され、前記第 4 の導体板の前記開口に向かって突出するバンプとを有することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 11】 高周波電磁界をスロットアンテナに供給し、このスロットアンテナから処理容器内に供給することにより、前記処理容器内にプラズマを生成するプラズマ生成方法であって、

円筒導波管内に高周波電磁界をその進行方向に対し垂直な面内で回転する回転電磁界として供給し、前記円筒導波管から前記スロットアンテナに供給することを特徴とするプラズマ生成方法。

【請求項 12】 処理容器内に磁界を形成すると共に高周波電磁界を供給し、電子サイクロトロン共鳴により加熱された電子を用いてプラズマを生成するプラズマ生成方法であって、

円筒導波管内に高周波電磁界をその進行方向に対し垂直な面内で回転する回転電磁界として供給し、前記円筒導波管から前記処理容器内に供給することを特徴とするプラズマ生成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、プラズマ処理装置およびプラズマ生成方法に関する。具体的には、本発明は、スロットアンテナを用いて処理容器内に供給した電

磁界によりプラズマを生成するプラズマ処理装置およびプラズマ生成方法に関する。また、本発明は、電子サイクロトロン共鳴 (electron-cyclotron-resonance: ECR) により加熱された電子を用いてプラズマを生成するプラズマ処理装置およびプラズマ生成方法に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体装置やフラットパネルディスプレイの製造において、酸化膜の形成や半導体層の結晶成長、エッチング、またアッシングなどの処理を行うために、プラズマ処理装置が多用されている。これらのプラズマ処理装置の一つに、スロットアンテナを用いて処理容器内に高周波電磁界を供給し、その電磁界の作用により処理容器内のガスを電離および解離させてプラズマを生成する高周波プラズマ処理装置がある。この高周波プラズマ処理装置は、低圧力で高密度のプラズマを生成できるので、効率のよいプラズマ処理が可能である。

【0003】高周波プラズマ処理装置には、円筒導波管を介してスロットアンテナに円偏波給電する方式がある。円偏波とは、その電界ベクトルが進行方向に対して垂直な面内で、1周期で1回転する回転電界であるような電磁波をいう。したがって円偏波給電により、スロットアンテナの電界強度分布は、時間平均で円偏波の進行方向の軸に対して軸対称な分布となる。このためスロットアンテナから処理容器内に時間平均で軸対称な分布の高周波電磁界を供給し、その電磁界の作用により均一性のよいプラズマを生成することが可能となる。

【0004】図15は、円偏波給電方式を採用するプラズマ処理装置の給電部の従来構成を示す図である。この給電部は、スロットアンテナの一種であるラジアルラインスロットアンテナ（以下、RLSAと略記する）530に円偏波給電するものであり、RLSA530内に一端が開口する円筒導波管541と、この円筒導波管541の他端に接続された矩形円筒変換器592と、この矩形円筒変換器592に一端が接続された矩形導波管542と、この矩形導波管542の他端に接続された高周波発生器543と、円筒導波管541に設けられた円偏波変換器591とを有している。

【0005】円偏波変換器591としては、図16

(a)に示すように、円筒導波管541の内壁に互に対向する金属製の円柱状スタブ591A、591Bを1対または複数対設けたものが用いられる。対をなすスタブ591A、591Bは、矩形円筒変換器592から入力されるTE<sub>11</sub>モードの高周波電磁界の電界の主方向に対して45°をなす方向に配置され、複数対設けられる場合には円筒導波管541の軸方向に $\lambda_g/4$  ( $\lambda_g$ は、円筒導波管541の管内波長)の間隔で配置されて、このTE<sub>11</sub>モードの高周波電磁界をその電界の主方向が円筒導波管541の軸線を中心に回転する回転電磁界に変換する。

【0006】また、円偏波変換器591として、図16

(b)に示すように、円筒導波管541の軸線に対して垂直に棒状誘電体591Cを1個または複数個設けたものも用いられる。棒状誘電体591Cもまた、矩形円筒変換器592から入力されるTE<sub>11</sub>モードの高周波電磁界の電界の主方向および円筒導波管541の軸方向に対し、スタブ591A、591Bと同様の方向および間隔で配置され、TE<sub>11</sub>モードの高周波電磁界を回転電磁界に変換する。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、大電力を投入した場合、図16(a)に示した金属製のスタブ591A、591Bを用いた円偏波変換器591では、スタブ591A、591Bの先端に電界が集中し、異常放電が生じやすく、放電後のプラズマ処理装置の動作が安定しないという問題があった。また、図16(b)に示した棒状誘電体591Cを用いた円偏波変換器591は、棒状誘電体591Cの発熱により破損しやすいので、長時間の連続稼働に耐えられないという問題があった。これらの問題は、導波路（円筒導波管541）中に円偏波変換器591を設けた場合に生じるので、上述した高周波プラズマ処理装置のみならず、処理容器内に円偏波給電するECRプラズマ処理装置においても同様に生じる問題であった。

【0008】本発明はこのような課題を解決するためになされたものであり、その目的は、円偏波給電を行なうプラズマ処理装置の動作の安定化を図ることにある。また、他の目的は、円偏波給電を行なうプラズマ処理装置の連続稼働時間をのばすことにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】このような目的を達成するために、本発明のプラズマ処理装置は、被処理体を載置する載置台が収容された処理容器内に高周波電磁界を供給するスロットアンテナと、このスロットアンテナに高周波電磁界を供給する給電部とを備えたプラズマ処理装置であって、給電部は、一端がスロットアンテナに対して開口する円筒導波管と、この円筒導波管の他端に設けられ、高周波電磁界をその進行方向に対し垂直な面内で回転する回転電磁界として供給する円偏波アンテナとを少なくとも有することを特徴とする。また、本発明のプラズマ処理装置は、処理容器内に磁界を形成する磁界発生部と、処理容器内に高周波電磁界を供給する給電部とを備え、電子サイクロトロン共鳴により加熱された電子を用いてプラズマを生成するプラズマ処理装置であって、給電部は、一端が処理容器に対して開口する円筒導波管と、この円筒導波管の他端に設けられ、高周波電磁界をその進行方向に対し垂直な面内で回転する回転電磁界として供給する円偏波アンテナとを少なくとも有することを特徴とする。これらのプラズマ処理装置は、給電部が高周波電磁界を回転電磁界として供給する円偏波アンテナを有しているので、円筒導波管内の高周波電磁界

を回転電磁界に変換するための円偏波変換器を設ける必要がない。

【0010】これらのプラズマ処理装置において、給電部は、円筒導波管の他端に一側面が接続された矩形導波管を更に有し、円偏波アンテナは、矩形導波管の一側面において円筒導波管内に開口した1つまたは複数のスロットからなる構成としてもよい。ここで、矩形導波管の一側面は、E面であってもよい。ここで、E面とは、矩形導波管において仮想電気力線が放/入射する面を意味する。また、上述したプラズマ処理装置において、給電部は、円筒導波管の他端に、終端面が接続された矩形導波管を更に有し、円偏波アンテナは、矩形導波管の終端面において円筒導波管内に開口した1つまたは複数のスロットからなる構成としてもよい。ここで、スロットは、互いの長さが異なり、互いの中心で交差する2本のスロットであってもよい。また、スロットは、互いに離間して配置され、互いに略垂直な方向に延びる2本のスロットであってもよい。

【0011】また、上述したプラズマ処理装置において、給電部は、内導体とその周囲に同軸に配設された外導体とからなり、円偏波アンテナに高周波電磁界を給電する少なくとも1本の同軸導波管を更に有し、円偏波アンテナは、円筒導波管の他端を閉塞し、同軸導波管の外導体に接続された第1の導体板と、円筒導波管内で第1の導体板に対し離間して対向配置され、同軸導波管の内導体に接続された第2の導体板とを有するパッチアンテナである構成としてもよい。

【0012】また、上述したプラズマ処理装置において、スロットアンテナには、円偏波を放射するスロットが形成されていてもよい。スロットアンテナから処理容器内に円偏波を放射することにより、処理容器内の電界強度分布を時間平均で軸対称な分布とすることができ。例えば、スロットアンテナには、互いの長さが異なる2本のスロットが互いの中心で交差するクロススロットが複数形成されていてもよい。クロススロットは、それを構成する2本のスロットが交差する点で円偏波が得られるので、設計どおりの円偏波が容易に得られる。

【0013】また、上述したプラズマ処理装置において、スロットアンテナは、載置台に対向配置され、スロットが複数形成された第3の導体板と、この第3の導体板に対向配置され、円筒導波管の一端が接続される開口を有する第4の導体板と、第3の導体板上に配置され、第4の導体板の開口に向かって突出するバンプとを有する構成としてもよい。バンプを設けることにより円筒導波管からスロットアンテナへのインピーダンス変化を緩和することができる。

【0014】また、本発明のプラズマ生成方法は、高周波電磁界をスロットアンテナに供給し、このスロットアンテナから処理容器内に供給することにより、処理容器内にプラズマを生成するプラズマ生成方法であって、円

筒導波管内に高周波電磁界をその進行方向に対し垂直な面内で回転する回転電磁界として供給し、円筒導波管からスロットアンテナに供給することを特徴とする。また、本発明のプラズマ生成方法は、処理容器内に磁界を形成すると共に高周波電磁界を供給し、電子サイクロトロン共鳴により加熱された電子を用いてプラズマを生成するプラズマ生成方法であって、円筒導波管内に高周波電磁界をその進行方向に対し垂直な面内で回転する回転電磁界として供給し、円筒導波管から処理容器内に供給することを特徴とする。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

（第1の実施の形態）図1は、本発明の第1の実施の形態である高周波プラズマ処理装置の構成を示す図である。このプラズマ処理装置は、半導体やLCDなどの基板（被処理体）Wを収容しこの基板Wに対してプラズマ処理を施す処理容器11と、この処理容器11内に高周波電磁界Fを供給しその作用により処理容器11内にプラズマPを生成するスロットアンテナの一種であるRLSA30と、このRLSA30に高周波電磁界を円偏波給電する給電部40とを有している。

【0016】処理容器11は、上部が開口した有底円筒形をしている。この処理容器11の底面中央部には絶縁板21を介して載置台22が固定されている。この載置台22の上面に基板Wが配置される。処理容器11の底面周縁部には、真空排気用の排気口12が設けられている。処理容器11の側壁には、処理容器11内にガスを導入するためのガス導入用ノズル13が設けられている。例えばこのプラズマ処理装置がエッチング装置として用いられる場合、ノズル13からArなどのプラズマガスと、CF<sub>4</sub>などのエッチングガスとが導入される。

【0017】処理容器11の上部開口は、そこから高周波電磁界Fを導入しつつ、プラズマPを外部に漏らさないように、誘電体板14で閉塞されている。なお、処理容器11の側壁上面と誘電体板14との間にOリングなどのシール部材15を介在させ、処理容器11内の気密性を確保している。誘電体板14およびRLSA30の外周は、処理容器11の側壁上に環状に配置されたシールド材16によって覆われ、高周波電磁界Fが外部に漏れない構造になっている。

【0018】RLSA30は、ラジアル導波路33を形成する対向配置された2つの円形導体板31、32と、これら2つの導体板31、32の外周部を接続してシールドする導体リング34とから構成されている。ラジアル導波路33の上面となる導体板（第4の導体板）32の中心部には、円形の開口35が形成され、この開口35を介して給電部40からラジアル導波路33内に高周波電磁界が導入される。ラジアル導波路33の下面とな

る導体板（第3の導体板）31には、ラジアル導波路33内を伝搬する高周波電磁界Fを処理容器11内に供給するスロット36が複数形成されている。

【0019】ラジアル導波路33内には、アルミナなど比誘電率が1より大きい誘電体からなる遅波材37が配置されている。遅波材37によりラジアル導波路33の管内波長 $\lambda_{g1}$ が短くなるので、導体板31の半径方向に配置するスロット36を増やし、高周波電磁界Fの供給効率を向上させることができる。なお、遅波材37は必ずしも必要ではなく、装着しなくてもよい。また、導体板31の中心部には、金属または誘電体で形成されたバンプ38が設けられている。このバンプ38は、導体板32の開口35に向かって突出する略円錐形に形成された部材である。バンプ38により、供給部40からラジアル導波路33へのインピーダンスの変化を緩やかにし、供給部40とラジアル導波路33との接続部での高周波電磁界の反射を低減することができる。

【0020】給電部40は、RLSA30の開口35に一端が接続された円筒導波管41と、この円筒導波管41の他端にクロススロット51を介して接続された一端が閉じられた矩形導波管42と、この矩形導波管42の他端に接続された高周波発生器43と、矩形導波管42に設けられた負荷整合器44とを有している。高周波発生器43は、周波数が1GHz～十数GHzの範囲内の所定周波数の高周波電磁界を発生させ、出力するものである。なお、高周波発生器43は、マイクロ波帯およびそれより低い周波数帯を含む高周波を出力するものであってもよい。以下では2.45GHzの高周波電磁界を出力するものとして説明を続ける。

【0021】負荷整合器44は、電源（高周波発生器43）側と負荷（RLSA30）側とのインピーダンスの整合をとるものである。インピーダンス整合をとることにより、高周波発生器43からRLSA30に高周波電磁界を効率よく供給することができる。なお、負荷整合器44を矩形導波管42に設ける代わりに、円筒導波管41に設けてもよい。クロススロット51は、円筒導波管41に高周波電磁界を円偏波として、すなわち進行方向に対し垂直な面内で1周期で1回転する回転電磁界として供給する円偏波アンテナとして作用する。以下、図1および図2を参照し、クロススロット51の構成例を示す平面図であり、矩形導波管42のE面をII-II'線方向から見た図である。

【0022】図2(a)に示すクロススロット51は、矩形導波管42のE面における円筒導波管41との接続部分に形成されている。このクロススロット51は、互いに長さが異なる2本のスロットが互いの中心で交差した構成をしている。これら2本のスロットそれぞれの中心、すなわちクロススロット51の中心は、E面の略中心軸上にある。また、矩形導波管42の終端42Aは金

属で閉じられており、この終端42Aから略 $\lambda_{g2}/2$ だけ離れた位置にクロススロット51の中心が配置される。 $\lambda_{g2}$ は、矩形導波管42内の管内波長である。この位置にクロススロット51を配置することにより、クロススロット51による放射電界の振幅を最大にすることができる。

【0023】クロススロット51を構成する2本のスロットは、2.45GHzに対する周波数特性が相対的に $5^\circ \sim 7^\circ$ 程度異なり、各スロットによる放射電界の振幅が等しくなるように、各スロットの長さおよび角度が調整される。具体的には、2本のスロットの長さを、それぞれ5.57cm、6.06cmとすると共に、その2本のスロットを互いに略直角に交差させ、矩形導波管42のE面の中心軸に対して略 $45^\circ$ 傾斜するように配置することができる。また、図2(b)に示すように、2本のスロットの長さを、それぞれ5.32cm、7.26cmとすると共に、その2本のスロットを互いに略 $107^\circ$ の角度で交差させ、矩形導波管42のE面の中心軸に対して略 $36.5^\circ$ 傾斜するように配置してもよい。

【0024】このようなクロススロット51を矩形導波管42のE面に形成することにより、2.45GHzの周波数に対して軸比が極めて1に近いTE<sub>11</sub>モードの円偏波が得られる。ここに軸比とは、円偏波の円形断面上の電界強度分布（時間平均）における最大値と最小値との比をいう。

【0025】次に、図1に示したプラズマ処理装置の動作について説明する。高周波発生器43で発生した高周波電磁界は、矩形導波管42をTE<sub>10</sub>モードで伝搬し、E面に形成されたクロススロット51から円筒導波管41内に放射される。円筒導波管41内に放射された高周波電磁界はTE<sub>11</sub>モードの円偏波となり、回転電磁界が生成される。この回転電磁界が、円筒導波管41から開口35を介してRLSA30内に導入されることにより、RLSA30に対して円偏波給電が行われる。RLSA30に導入された高周波電磁界は、RLSA30に複数形成されたスロット36から誘電体板14を介して処理容器11内に供給される。処理容器11内に供給された高周波電磁界は、ノズル13を通じて処理容器11内に導入されたプラズマガスを電離させてプラズマPを生成し、基板4に対する処理が行われる。

【0026】このように、図1に示したプラズマ処理装置は、矩形導波管42のE面に形成されたクロススロット51により、高周波電磁界を円筒導波管41内に回転電磁界として供給することができるので、円筒導波管541内の高周波電磁界を回転電磁界に変換するために従来用いられていた円偏波変換器591が不要となる。したがって、円偏波変換器591がもたらした問題を解消し、円偏波給電を行なってプラズマPを生成する動作を安定化させると共に、長時間の連続稼動を可能にするこ

とができる。また、円偏波変換器 591 だけでなく、矩形円筒変換器 592 も不要となるので、部品点数を削減し、プラズマ処理装置の製造コストを低減することができる。

【0027】（第 2 の実施の形態）図 3 は、本発明の第 2 の実施の形態である高周波プラズマ処理装置の一部の構成を示す図である。この図には、給電部の構成を示しているが、図 1 と同一部分または相当部分を同一符号で示しており、その説明を適宜省略する。図 1 に示した給電部 40 では、クロススロット 51 が矩形導波管 42 の E 面に形成されているのに対し、この図 3 に示した給電部 40A では、クロススロット 53 が矩形導波管 45 の終端面に形成されている点で異なっている。以下、図 3 および図 4 を参照し、この相違点を中心に説明する。

【0028】図 4 は、矩形導波管 45 の終端面に形成されるクロススロット 53 の構成例を示す平面図であり、矩形導波管 45 の終端面を IV-IV' 線方向から見た図である。クロススロット 53 の構成は、E 面に形成されるクロススロット 51 の構成と概ね同じである。すなわち、クロススロット 53 は、互いに長さが異なる 2 本のスロットが互いの中心で交差した構成をし、これら 2 本のスロットは、2.45 GHz に対する周波数特性が相対的に  $55^\circ \sim 70^\circ$  程度異なり、各スロットによる放射電界の振幅が等しくなるように調整されている。具体的には、2 本のスロットの長さを、それぞれ 5.57 cm、6.06 cm とすると共に、その 2 本のスロットを互いに略直角に交差させ、矩形導波管 45 の中心部に生成される仮想的な電界線に対して略  $45^\circ$  傾斜するように配置することができる。ただし、クロススロット 53 の中心は、矩形導波管 45 の終端面の略中心に配置される。

【0029】このようなクロススロット 53 を矩形導波管 45 の終端面に形成することにより、2.45 GHz の周波数に対して軸比が極めて 1 に近い TE<sub>11</sub> モードの円偏波が得られる。したがって、図 3 に示した給電部 40A は、矩形導波管 45 の終端面に形成されたクロススロット 53 により、高周波電磁界を円筒導波管 41 内に回転電磁界として供給することができるので、図 1 に示した給電部 40 と同じく円偏波変換器 591 が不要となり、その結果、円偏波給電を行なってプラズマ P を生成する動作を安定化させると共に、長時間の連続稼動を可能にすることができる。

【0030】なお、本発明の第 1、第 2 の実施の形態では、クロススロット 51、53 を用いる例を示したが、図 5 に示すように、互いに略垂直な方向の 2 本のスロット 55A、55B を離間して配置した所謂ハの字スロットを用いて円筒導波管 41 に円偏波を供給するようにしてもよい。ハの字スロットは、一方のスロット 55A の延長線が、他方のスロット 55B 上またはその延長線上で交差するものであればよい。また、クロススロット 5

1、53 またはハの字スロットを構成するスロットの平面形状は、図 6 (a) に示すような矩形であってもよいし、図 6 (b) に示すような平行な二直線の両端を円弧などの曲線でつないだ形状であってもよい。スロットの長さ L とは、図 6 (a) では矩形の長辺の長さであり、図 6 (b) では平行な二直線の長さである。

【0031】（第 3 の実施の形態）図 7 は、本発明の第 3 の実施の形態である高周波プラズマ処理装置の一部の構成を示す図である。この図には、給電部の構成を示しているが、図 1 と同一部分または相当部分を同一符号で示しており、その説明を適宜省略する。図 7 に示した給電部は、パッチアンテナ 71 を用いて高周波電磁界を円筒導波管 41 内に回転電磁界として供給するものである。パッチアンテナ 71 は、円筒導波管 41 の他端を閉じる接地された円形導体板 41A と、この円形導体板 41A の下面に配置された誘電体板 72 と、この誘電体板 72 を介して円形導体板 41A に対向配置された導体板 73 とから構成されている。以下では、円形導体板 41A と導体板 73 との混同を避けるため、前者を地板 41A、後者を共振器 73 と呼ぶ。

【0032】地板 41A には、2 本の同軸導波管 61、62 の外部導体 61A、62A（外部導体 62A は図示せず）が接続され、共振器 73 には、2 本の同軸導波管 61、62 の内部導体 61B、62B（内部導体 62B は図示せず）が接続されている。共振器 73 の中心を接地電位に固定するために、共振器 73 の中心を導体柱で地板 41A に接続してもよい。地板 41A、共振器 73 および導体柱は、銅又はアルミニウムなどにより形成され、誘電体板 72 はセラミックなどにより形成される。

【0033】図 8 は、共振器 73 を VIII-VIII' 線方向から見たときの平面図である。共振器 73 の平面形状は、一辺が略  $\lambda_{g3}/2$  の正方形をしている。 $\lambda_{g3}$  は、地板 41A と共振器 73 との間を伝播する高周波電磁界の波長である。共振器 73 の中心を座標系の原点 O とし、共振器 73 の各辺と平行に x 軸、y 軸を設定すると、2 本の同軸導波管 61、62 の内部導体 61B、62B は、共振器 73 上の原点 O から略等距離にある x 軸、y 軸上の 2 点に接続される。この 2 点を給電点 S、T と呼ぶ。

【0034】このような構成のパッチアンテナ 71 に対して、2 本の同軸導波管 61、62 から等振幅かつ位相が互いに  $90^\circ$  異なる高周波電磁界を給電することにより、円筒導波管 41 内に TE<sub>11</sub> モードの回転電磁界を生成することができる。その原理は次のとおりである。共振器 73 の x 軸方向の長さは  $\lambda_{g3}/2$  であるから、一方の同軸導波管 61 より給電点 S に供給された電流は x 軸方向で共振し、共振器 73 の y 軸に平行な二辺から x 軸に平行な直線偏波が放射される。また、共振器 73 の y 軸方向の長さも  $\lambda_{g3}/2$  であるから、他方の同軸導波管 62 より給電点 T に供給された電流は y 軸方向で共振



し、共振器 73 の x 軸に平行な二辺から y 軸に平行な直線偏波が放射される。2 本の同軸導波管 61, 62 による給電位相は互いに  $90^\circ$  異なるので、放射される 2 つの直線偏波の位相も互いに  $90^\circ$  異なっている。しかも両者は振幅が等しく、空間的に直交しているの、円偏波となり、円筒導波管 41 に回転電磁界が生成される。

【0035】このように、図 7 に示した給電部は、パッチアンテナ 71 により高周波電磁界を円筒導波管 41 内に回転電磁界として供給することができるので、図 1 に示した給電部 40 と同じく円偏波変換器 591 が不要となり、その結果、円偏波給電を行なってプラズマ P を生成する動作を安定化させると共に、長時間の連続稼働を可能にすることができる。

【0036】なお、パッチアンテナ 71 への給電位相の差を  $90^\circ$  とするには、移相器を用いてもよいが、互いの電気長が  $90^\circ$  異なる 2 つの同軸導波管に同位相の高周波電磁界を供給するようにしてもよい。また、パッチアンテナ 71 が有する共振器 73 の平面形状は、図 8 に示した正方形の他、円形などの  $90^\circ$  回転対称形状（共振器 73 をその面内で  $90^\circ$  回転させたときに重なる形状）であってもよい。ただし、円形の場合には、直径を略  $1.17 \times \lambda_{g3} / 2$  とするとよい。さらにまた、共振器 73 の平面形状は、長方形など、その中心からみた直交する 2 方向の長さが異なる形状であってもよい。この場合、2 つの給電点 S, T における給電位相の差を  $90^\circ$  とはせず、上記 2 方向の長さによって調整する。

【0037】（第 4 の実施の形態）図 9 は、本発明の第 4 の実施の形態である高周波プラズマ処理装置の一部の構成を示す図である。この図には、給電部の構成を示しているが、図 1 および図 7 と同一部分または相当部分を同一符号で示しており、その説明を適宜省略する。図 7 に示した給電部は、2 本の同軸導波管 61, 62 を用いた二点給電のパッチアンテナ 71 を用いているのに対し、この図 9 に示した給電部、1 本の同軸導波管 61 を用いた一点給電のパッチアンテナ 75 を用いている点で異なっている。以下、この相違点を中心に説明する。

【0038】パッチアンテナ 75 は、円筒導波管 41 の他端を閉じる接地された円形導体板 41A と、この円形導体板 41A の下面に配置された誘電体板 72 と、この誘電体板 72 を介して円形導体板 41A に対向配置された導体板 76 とから構成されている。以下では、円形導体板 41A と導体板 76 との混同を避けるため、前者を地板 41A、後者を共振器 76 と呼ぶ。地板 41A には同軸導波管 61 の外部導体 61A が接続され、共振器 76 には同軸導波管 61 の内部導体 61B が接続されている。

【0039】図 10 は、共振器 76 を X-X' 線方向から見たときの平面図である。この図に示すように、共振器 76 の平面形状は、円 76A の周縁領域の一部を切り欠いた形状をしている。より詳しく言うと、円周と y 軸

とが交差する付近の 2 領域を矩形状に切り欠いた形状をしている。切り欠き面積は円 76A の面積の 3% 程度とするとよい。ここでは、共振器 76 の x 軸方向の長さを略  $1.17 \times \lambda_{g3} / 2$  とし、y 軸方向の長さを略  $1.17 \times \lambda_{g3} / 2 - 2d$  とする。同軸導波管 61 の内部導体 61B は、x 軸、y 軸と  $45^\circ$  の角度で交差する直線上の一点に接続されている。この点を給電点 U と呼ぶ。

【0040】同軸導波管 61 より共振器 76 の給電点 U に供給された電流は、x 軸方向および y 軸方向にそれぞれ独立に流れる。このとき、y 軸方向の長さは  $1.17 \times \lambda_{g3} / 2$  よりも  $2d$  だけ短いので、電磁界からみた誘電率が大きくなり、y 軸方向を流れる電流の位相が遅れる。この位相遅れが  $90^\circ$  となるように  $2d$  の値と切り欠き部の長さが設定されれば、パッチアンテナ 75 から円偏波が放射され、円筒導波管 41 内に TE<sub>11</sub> モードの回転電磁界が生成される。このように、図 9 に示した給電部は、パッチアンテナ 75 により高周波電磁界を円筒導波管 41 内に回転電磁界として供給することができるので、図 1 または図 7 に示した給電部と同じく円偏波変換器 591 が不要となり、その結果、円偏波給電を行なってプラズマ P を生成する動作を安定化させると共に、長時間の連続稼働を可能にすることができる。

【0041】なお、共振器 76 の平面形状は図 10 に示した形状に限られるものではなく、少なくとも共振器 76 の中心からみた直交する 2 方向の長さが異なる形状であればよい。したがって、例えば楕円形であってもよいし、長辺の長さがおおよそ  $\lambda_{g3} / 2$  であり、短辺の長さがおおよそ  $\lambda_{g3} / 2$  未満である矩形であってもよい。

【0042】（第 5 の実施の形態）図 11 は、本発明の第 5 の実施の形態である高周波プラズマ処理装置の一部の構成を示す図である。この図には、RLSA のスロット配置を示しているが、図 1 と同一部分または相当部分を同一符号で示しており、その説明を適宜省略する。

【0043】本発明の第 1 ～第 4 の実施の形態では、処理容器 11 内に高周波電磁界 F を供給するスロットアンテナとして RLSA 30 を用いているが、クロススロット 36A を配置した RLSA 30A を用いてもよい。クロススロット 36A の構成は、図 1, 図 2 に示した給電部 40 で用いられるクロススロット 51 と同様でよい。すなわち、クロススロット 36A は、互いに長さが異なる 2 本のスロットが互いの中心で交差した構成をしている。ただし、遅波材 37 の作用で RLSA 30A の管内波長  $\lambda_{g1}$  が矩形導波管 42 の管内波長  $\lambda_{g2}$  より短いので、それに応じてクロススロット 36A の寸法も小さくなっている。

【0044】図 11 に示した RLSA 30A では、このようなクロススロット 36A が、スロット面を構成する導体板 31 上に同心円上に複数配置されている。同心円の間隔（内側の円と外側の円との半径の差）は、RLSA 30A の管内波長  $\lambda_{g2}$  と等しくてもよいが、これに限



定されるものではない。なお、クロススロット 36A が渦巻線上に複数配置されていてもよい。渦巻線の間隔（渦巻線上を 1 回転したときの半径方向の変位）も、上記同心円の間隔と同様である。クロススロット 36A には、それを構成する 2 本のスロットが交差する点で円偏波が得られるので、設計どおりの円偏波が容易に得られるという特徴がある。よって、このようなクロススロット 36A を複数配置した RLSA30A を用いることにより、処理容器 11 内に円偏波を設計どおりに放射することができる。これにより、処理容器 11 内の電界強度分布を時間平均で軸対称な分布とし、その電磁界の作用により均一性のよいプラズマ P を生成することができる。

【0045】なお、RLSA30, 30A は、スロット面を構成する導体板 31 が平板状であるが、図 12 および図 13 (a) に示す RLSA30B のように、スロット面を構成する導体板 31A が円錐面状をしていてもよい。円錐面状をしたスロット面から放射（またはリーク）される高周波電磁界 F は、平板状をした誘電体板 14 によって規定されるプラズマ面に対して斜め方向から入射されることになる。このため、プラズマ P による高周波電磁界 F の吸収効率が向上するので、アンテナ面とプラズマ面との間に存在する定在波を弱め、プラズマ分布の均一性を向上させることができる。なお、RLSA30B のアンテナ面を構成する導体板 31A は、上に凸の円錐面状をしているが、図 13 (b) に示すように下に凸の円錐面状をした導体板 31B を用いることもできる。また、導体板 31A, 31B は、円錐面状以外の凸形状であってもよい。

【0046】（第 6 の実施の形態）本発明は上述した高周波プラズマ処理装置だけでなく、ECR プラズマ処理装置にも適用することができる。図 14 は、本発明の第 6 の実施の形態である ECR プラズマ処理装置の一構成例を示す図である。図 14 において、図 1 および図 2 と同一部分または相当部分を同一符号で示しており、その説明を適宜省略する。

【0047】図 14 に示す ECR プラズマ処理装置は、プラズマが生成されるプラズマ室 111A と、プラズマ CVD などの処理が行われる反応室 111B とからなる処理容器 111 を有している。プラズマ室 111A の外周には、プラズマ室 111A 内に磁束密度 B が 87.5 mT の磁界を形成する主電磁コイル 181 が設けられている。プラズマ室 111A の上端には、誘電体板 114 を介して給電部 140 が接続され、この給電部 140 から電子サイクロトロン振動数（プラズマ中の電子が磁力線を中心に回転運動するときの振動数）2.45 GHz と同じ振動数の高周波電磁界 F が供給される。

【0048】プラズマ室 111A と連通する反応室 111B の内部には、半導体や LCD などの基板（被処理体）W を上面に載置する載置台 122 が収容されてい

る。また、反応室 111B の底面の下には、補助電磁コイル 182 が設けられている。主電磁コイル 181 と補助電磁コイル 182 とからなる磁界発生器により、反応室 111B 内にミラー磁界 MM が形成される。また、プラズマ室 111A の上部には、例えば  $N_2$  などのプラズマガスを供給するノズル 113A が設けられ、反応室 111B の上部には、例えば  $SiH_4$  などの反応性ガスを供給するノズル 113B が設けられている。さらに、反応室 111B の下部には、真空ポンプに連通する排気口 112 が設けられている。

【0049】このような構成において、プラズマ室 111A 内に磁束密度 B が 87.5 mT の磁界を形成するとともに、振動数が 2.45 GHz の高周波電磁界 F を導入すると、電子サイクロトロン共鳴が起こり、高周波電磁界 F のエネルギーが電子に効率よく移行し電子が加熱される。このようにして高周波電磁界 F で加熱された電子により、プラズマ室 111A 内の  $N_2$  の電離が続けられ、プラズマが生成される。

【0050】一方、給電部 140 は、図 1 に示した給電部 40 と同様の構成を有している。すなわち給電部 140 は、誘電体板 114 を介してプラズマ室 111A の上端に一端が接続された円筒導波管 41 と、この円筒導波管 41 の他端にクロススロット 51 を介して接続された矩形導波管 42 と、この矩形導波管 42 の他端に接続された高周波発生器 43 と、矩形導波管 42 に設けられた負荷整合器 44 とを有している。なお、給電部 140 として、図 3、図 7 または図 9 に示した給電部を用いてもよい。

【0051】これらの給電部では、円筒導波管 41 内に高周波電磁界を回転電磁界として供給することができるので、円筒導波管 541 内の高周波電磁界を回転電磁界に変換するために従来用いられていた円偏波変換器 591 が不要となる。したがって、円偏波変換器 591 がもたらした問題を解消し、円偏波給電を行なってプラズマを生成する動作を安定化させると共に、長時間の連続稼動を可能にすることができる。また、円偏波変換器 591 だけでなく、矩形円筒変換器 592 も不要となるので、部品点数を削減し、プラズマ処理装置の製造コストを低減することができる。

【0052】なお、本発明のプラズマ処理装置は、エッチング装置、CVD 装置、アッシング装置などに利用することができる。

【0053】

【発明の効果】以上説明したように、本発明では、スロットアンテナに高周波電磁界を供給する給電部が、スロットアンテナに対して開口する円筒導波管と、この円筒導波管に高周波電磁界を回転電磁界として供給する円偏波アンテナとを有している。このため、円筒導波管内の高周波電磁界を回転電磁界に変換するための円偏波変換器を設ける必要がない。したがって、円偏波変換器がも

たらし問題を解消し、円偏波給電を行なってプラズマを生成する動作を安定化させると共に、長時間の連続稼動を可能にすることができる。

【0054】また、スロットアンテナから処理容器内に円偏波を放射する場合、スロットアンテナにクロススロットを複数形成することにより、円偏波を設計どおりに放射することができる。これにより、処理容器内の電界強度分布を時間平均で軸対称な分布とし、その電磁界の作用により均一性のよいプラズマを生成することができる。また、スロットアンテナにバンプを設けることにより、円筒導波管からスロットアンテナへのインピーダンス変化を緩和し、円筒導波管とスロットアンテナとの接続部での高周波電磁界の反射を低減することができる。これにより、処理容器内に効率よく高周波電磁界を供給し、プラズマの生成効率を向上させることができる。

【0055】また、本発明では、処理容器内にECR条件を満たす高周波電磁界を供給する給電部が、処理容器に対して開口する円筒導波管と、この円筒導波管に高周波電磁界を回転電磁界として供給する円偏波アンテナとを有している場合には、円筒導波管内の高周波電磁界を回転電磁界に変換するための円偏波変換器を設ける必要がない。したがって、円偏波変換器がもたらした問題を解消し、円偏波給電を行なってプラズマを生成する動作を安定化させると共に、長時間の連続稼動を可能にすることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施の形態である高周波プラズマ処理装置の構成を示す図である。

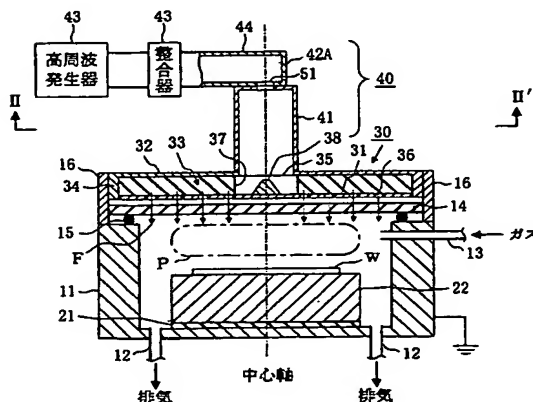
【図2】 給電部が有するクロススロットの構成例を示す平面図である。

【図3】 本発明の第2の実施の形態である高周波プラズマ処理装置の一部の構成を示す図である。

【図4】 給電部が有するクロススロットの構成例を示す平面図である。

【図5】 クロススロットに代替可能なハの字スロット

【図1】



の配置を示す図である。

【図6】 スロットの形状を示す平面図である。

【図7】 本発明の第3の実施の形態である高周波プラズマ処理装置の一部の構成を示す図である。

【図8】 給電部が有するパッチアンテナの共振器の平面図である。

【図9】 本発明の第4の実施の形態である高周波プラズマ処理装置の一部の構成を示す図である。

【図10】 給電部が有するパッチアンテナの共振器の平面図である。

【図11】 本発明の第5の実施の形態である高周波プラズマ処理装置の一部の構成を示す図である。

【図12】 本発明で使用可能なラジアルラインスロットアンテナの構成を示す断面図である。

【図13】 図12に示したラジアルラインスロットアンテナのスロット面の構成を示す斜視図である。

【図14】 本発明の第6の実施の形態であるECRプラズマ処理装置の一構成例を示す図である。

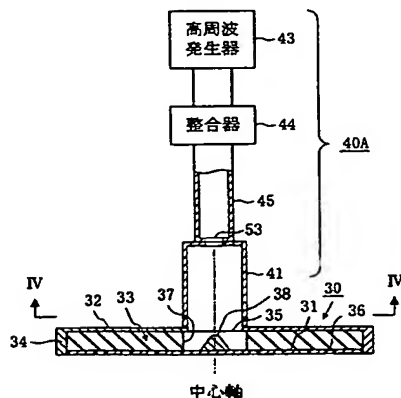
【図15】 円偏波給電方式を採用するプラズマ処理装置の給電部の従来構成を示す図である。

【図16】 円偏波変換器の構成例を示す図である。

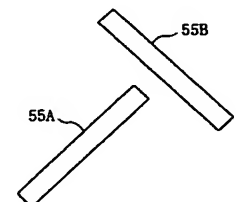
#### 【符号の説明】

11…処理容器、30…ラジアルラインスロットアンテナ(RLSA)、31…円形導体板(第3の導体板)、32…円形導体板(第4の導体板)、35…開口、36…スロット、36A…クロススロット、38…バンプ、40、40A、140…給電部、41…円筒導波管、41A…地板(第1の導体板)、42、45…矩形導波管、51、53…クロススロット(円偏波アンテナ)、55A、55B…スロット、61…同軸導波管、61A…外導体、61B…内導体、71…パッチアンテナ(円偏波アンテナ)、73…共振器(第2の導体板)、111…容器、181、182…電磁コイル(磁界発生部)、F…高周波電磁界。

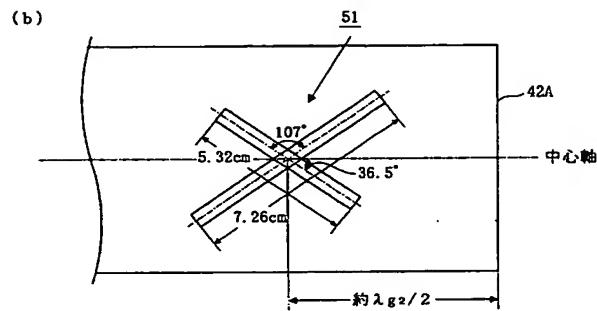
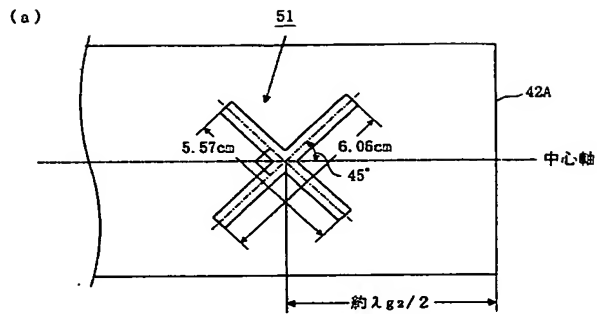
【図3】



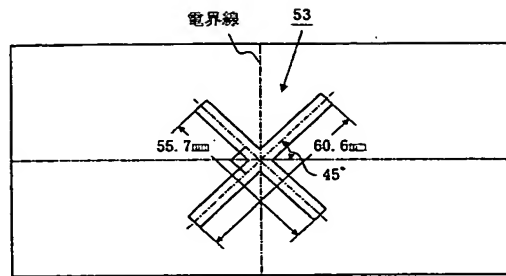
【図5】



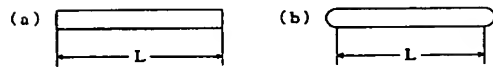
【図2】



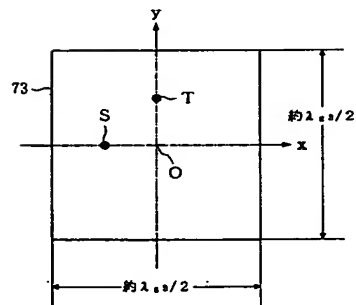
【図4】



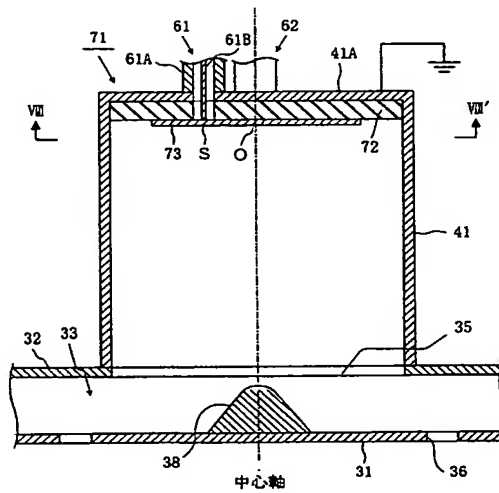
【図6】



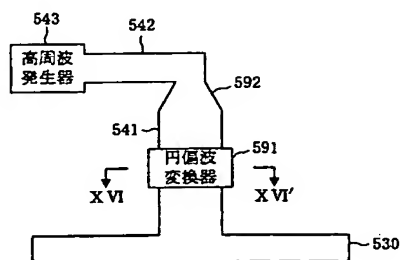
【図8】



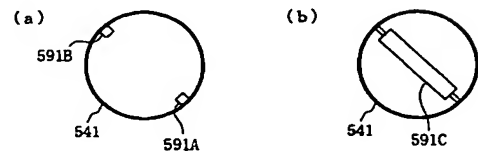
【図7】



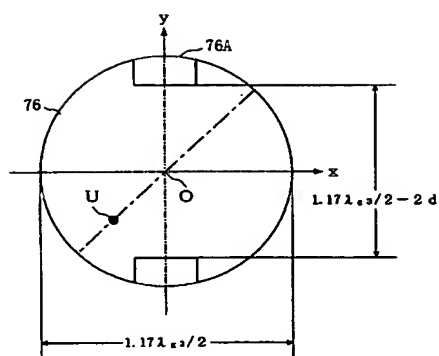
【図15】



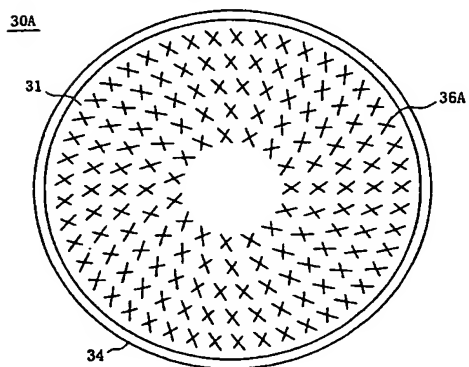
【図16】



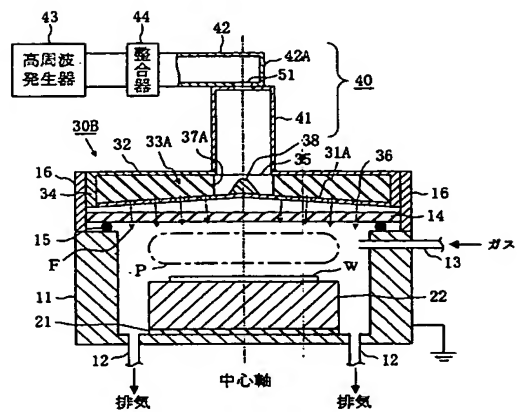
【图 10】



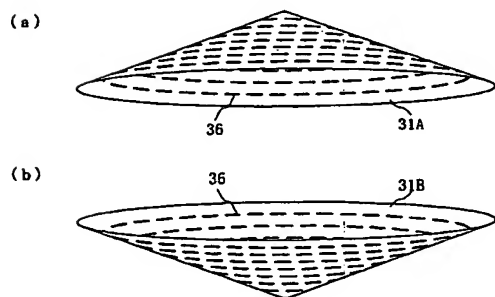
【图 1 1】



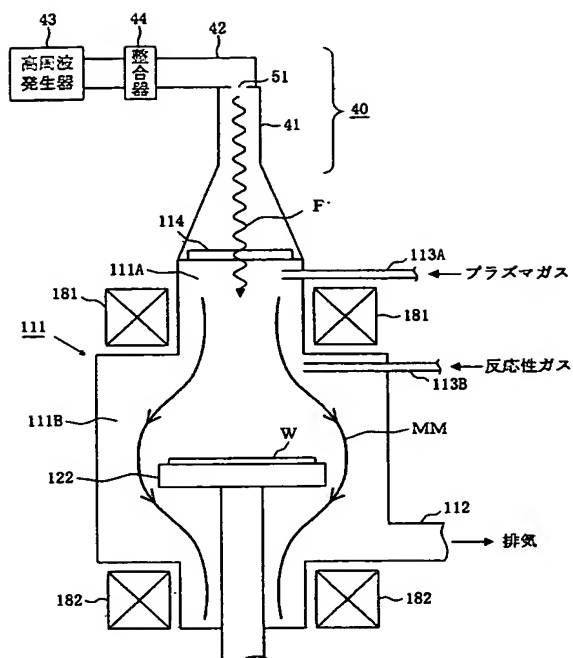
【图 12】



【图 13】



【図14】



フロントページの続き

Fターム(参考) 4G075 AA24 AA30 BC04 BC05 BC06  
 BC10 CA25 CA47 DA02 EB01  
 EB21 FA01 FA05 FC11  
 4K030 AA06 AA18 BA29 FA02 JA20  
 KA30 KA34 KA41  
 5F004 AA16 BA14 BA20 BB14 BD01  
 DA01 DA23  
 5F045 AA09 AA10 BB20 DP03 DQ10  
 EH02 EH17